УДК 621.391: 519.22

ПОКОМПОНЕНТНАЯ ФУНКЦИЯ КОГЕРЕНТНОСТИ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

И. Н. ЯВОРСКИЙ[1,2], Р. М. ЮЗЕФОВИЧ [1], И. Й. МАЦЬКО[1], З. ЗАКЖЕВСКИ[2]

[1]*Физико-механический институт им. Г. В. Карпенко Национальной академии наук Украины, Украина, Львов, 79601, ул. Научная 5*

[2]*Институт телекоммуникаций технологически-естествоведческого университета, Польша, Быдгощ, 85796, аллея проф. Калисскего 7*

Аннотация. Рассмотрена новая покомпонентная функция когерентности, которая определяется взаимоспектральными плотностями стационарных компонентов периодически нестационарных случайных сигналов — стационарно связанных случайных процессов, модулирующих их несущие гармоники. Свойства введенной функции когерентности конкретизированы для амплитудно- и фазомодулированных сигналов, получены ее графические частотные зависимости для заданных параметров сигналов. Показаны преимущества покомпонентной функции когерентности в сравнении с ранее введенной интегральной функцией когерентности. Приведен метод выделения стационарных модулирующих компонентов, который основан на частотном сдвиге и низкочастотной фильтрации. Проанализированы свойства выделяемых компонентов в случае амплитудных и фазовых модуляций.

Ключевые слова: периодически нестационарный случайный процесс; модулирующие стационарно связанные случайные процессы; линейные преобразования; амплитудно-модулированный сигнал; фазомодулированный сигнал

ВСТУПЛЕНИЕ

Важной задачей при анализе взаимосвязанности случайных сигналов является определение той частотной области, в которой проявляется зависимость вероятностных свойств одного из сигналов от таковых другого. Введеная при иследовании стационарных случайных сигналов функция когерентности [1, 2]

$$\gamma_{\xi\eta}(\omega)=\frac{|f_{\xi\eta}(\omega)|}{|f_{\xi}(\omega)f_{\eta}(\omega)|^{1/2}}, \qquad (1)$$

где $f_{\xi\eta}(\omega)$ — взаимная спектральная плотность стационарно связанных сигналов $\xi(t)$ и $\eta(t)$, $f_{\xi}(\omega)$ и $f_{\eta}(\omega)$ — их спектральные плотности мощности, дает возможность установить ту часть средней мощности сигнала $\eta(t)$, которая на частоте ω определяется мощностью сигнала $\xi(t)$.

Важным свойством функции когерентности (1) является то, что в случае, когда стационарные сигналы $\xi(t)$ и $\eta(t)$ являются результатом линейных преобразований одного и того же стационарного сигнала, она равняется 1. Это послужило основой для использования ее при исследовании одно- и многоканальных систем передачи информации, идентификации путей распространения сигналов, локализации их источников, выявлении нелинейных искажений и др. [1, 2]. Однако спектральные плотности мощности $f_{\xi}(\omega)$ и $f_{\eta}(\omega)$, входящие в (1), определяют только спектральные составы сигналов, а взаимная спектральная плот-

DOI: 10.20535/S0021347017010046

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Bendat J. S.* Random Data: Analysis and Measurement Procedures / J. S. Bendat, A. G. Piersol. — New York : John Wiley @ Sons, 2010. — 640 p.

2. *Kay S.* Modern Spectral Estimation: Theory and Application / S. Kay. — New Jersey : Prentise Hall, 1987. — 543 p.

3. *Яворський І. М.* Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань / І. М. Яворський ; під заг. ред. З. Т. Назарчука. — Львів : ФМІ НАНУ, 2013. — 804 с.

4. *Яворський І. М.* Взаємоз періодично корельовані випадкові процеси / І. М. Яворський, І. Б. Кравець, Р. М. Юзефович // Відбір і обробка інформації. — 2011. — № 34. — С. 69–77.

5. Функция когерентности взаимосвязанных периодически нестационарных случайных процессов / И. Н. Яворский, Р. М. Юзефович, И. Й. Мацько, З. Закжевски // Известия вузов. Радиоэлектроника. — 2016. — Т. 59, № 3. — С. 40–51. — DOI : 10.20535/S0021347016030043.

6. *Gardner W. A.* Eexploitation of spectral redundancy in cyclostationary signals / W. A. Gardner // IEEE SP Magazine (Signal Processing). — Apr. 1991. — Vol. 8, No. 2. — P. 14–36. — DOI : 10.1109/79.81007.

7. Cyclostationarity in Communications and Signal Processing // Ed. by W. A. Gardner. — New York : IEEE Press, 1994. — 504 p.

8. *Hurd H. L.* Periodically Correlated Random Sequences. Spectral Theory and Practice / H. L. Hurd, A. Miamee. — New Jersey : Wiley-Interscience, 2007. — 353 p.

9. *Napolitano A.* Cyclostationarity: New trends and applications / A. Napolitano // Signal Processing. — Mar. 2016. — Vol. 120. — P. 385–408. — DOI : 10.1016/j.sigpro.2015.09.011.

10. *Obuchowski J.* Identification of cyclic components in presence of non-Gaussian noise — application to crusher bearings damage detection / J. Obuchowski, A. Wylomanska, R. Zimroz // J. Vibroengineering. — 2015. — Vol. 17, No. 3. — P. 1242–1252. — URL : http://www.jve.lt/Vibro/JVE-2015-17-3/JVE01715051589.html.

11. *Obuchowski J.* The local maxima method for enhancement of time-frequency map and its application to local damage detection in rotating machines / J. Obuchowski, A. Wylomanska, R. Zimroz // Mechanical

Systems and Signal Processing. — Jun. 2014. — Vol. 46, No. 2. — P. 389–405. — DOI : 10.1016/j.ymssp.2014.01.009.

12. Linear filtration methods for statistical analysis of periodically correlated random processes—Part II: Harmonic series representation / I. Javorskyj, J. Leskow, I. Kravets, I. Isayev, E. Gajecka // Signal Processing. — Nov. 2011. — Vol. 91, No. 11. — P. 2506–2519. — DOI : 10.1016/j.sigpro.2011.04.031.

Поступила в редакцию ? По-сле переработки ?